

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-344002

(43)Date of publication of application : 29.11.2002

(51)Int.Cl.

H01L 31/10  
H01L 31/0232

(21)Application number : 2002-060335

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO  
LTD

(22)Date of filing : 06.03.2002

(72)Inventor : MATSUDA KENICHI

(30)Priority

Priority number : 2001068963

Priority date : 12.03.2001

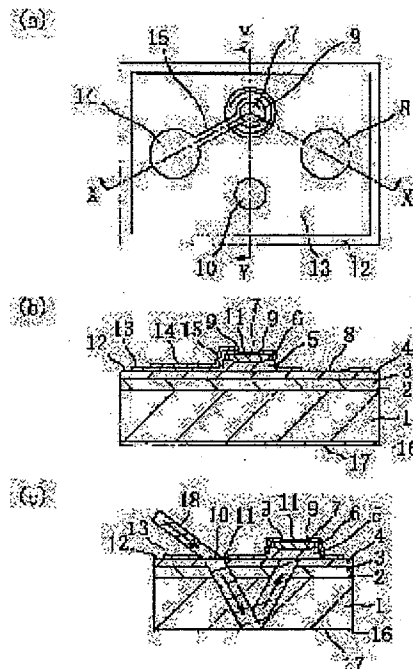
Priority country : JP

## (54) LIGHT-RECEIVING ELEMENT AND MOUNTING BODY THEREOF

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a light-receiving element having wavelength pass-band characteristics in which a high sensitivity rate is obtained, even in a thin filter layer, and the depth of impurity diffusion in a light-receiving part is equivalent to that of conventional pin photodiodes.

**SOLUTION:** A filter layer 3 and a buffer layer 4 are successively laminated on a first main face 2 of a semiconductor substrate 1, and island-shaped light-absorbing layer 5 and window layer 6 are laminated on the buffer layer 4. A diffusion region 7, where p-type impurity is diffused, is formed in the window layer 6. An n-side electrode 8 is formed on the buffer layer 4, and a p-side electrode 9 is formed on the diffusion area 7. Also, a light incident part 10 is formed on the buffer layer 4, where the light-absorbing layer 5 is not formed.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-344002

(P2002-344002A)

(43) 公開日 平成14年11月29日 (2002. 11. 29)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード (参考)

H 0 1 L 31/10

H 0 1 L 31/10

A 5 F 0 4 9

31/0232

31/02

C 5 F 0 8 8

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 14 頁)

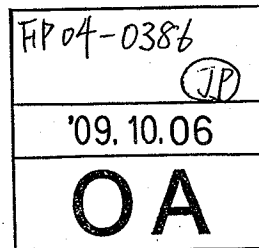
(21) 出願番号 特願2002-60335(P2002-60335)

(22) 出願日 平成14年3月6日 (2002. 3. 6)

(31) 優先権主張番号 特願2001-68963(P2001-68963)

(32) 優先日 平成13年3月12日 (2001. 3. 12)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)



(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 松田 賢一

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 100077931

弁理士 前田 弘 (外7名)

Fターム (参考) 5F049 MA04 MB07 NA01 NA04 NA10

NB01 QA11 QA17 QA20 SZ07

5F088 AA03 AB07 BA03 BB01 HA05

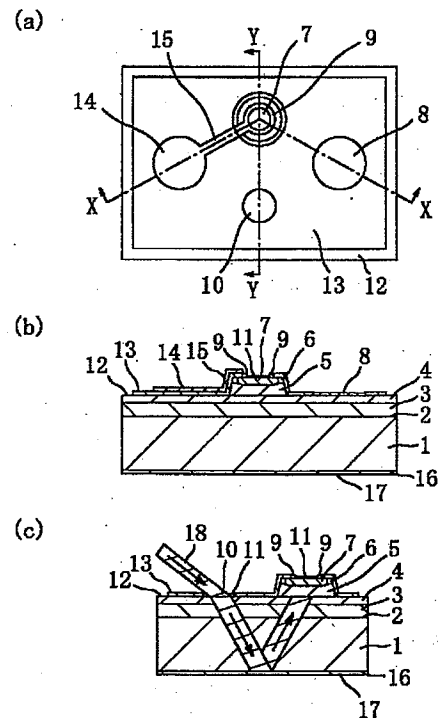
HA09 JA14

(54) 【発明の名称】 受光素子及び受光素子実装体

(57) 【要約】

【課題】 薄いフィルタ層でも高い感度比が得られ、受光部における不純物拡散の深さは従来のpinフォトダイオードと同等である長波長パスバンド特性を有する受光素子を提供する。

【解決手段】 半導体基板1の第1主面2上に、フィルタ層3及びバッファ層4が順次積層され、さらにバッファ層4の上に島状の光吸収層5及び窓層6が積層されている。窓層6にはp型不純物が拡散された拡散領域7が形成されている。バッファ層4の上にはn側電極8、拡散領域7の上にはp側電極9が形成されている。光吸収層5が形成されていないバッファ層4上に光入射部10が形成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体基板と、  
前記半導体基板の第 1 主面上に形成されたフィルタ層と、  
前記フィルタ層上に島状に形成された光吸収層と、  
前記フィルタ層上の前記光吸収層が形成されていない部分に形成された光入射部とを有し、  
前記フィルタ層の吸収端波長は、前記半導体基板の吸収端波長よりも長く、前記光吸収層の吸収端波長よりも短いことを特徴とする受光素子。

【請求項 2】 前記半導体基板の第 2 主面に反射膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の受光素子。

【請求項 3】 前記フィルタ層と前記光吸収層との間に形成された、前記フィルタ層よりも禁制帯幅の大きい材料よりなるキャリア阻止層と、  
前記光吸収層の上に形成され、不純物拡散領域を有するワイドバンドキャップ層とを有することを特徴とする請求項 1 に記載の受光素子。

【請求項 4】 前記半導体基板、前記フィルタ層及び前記キャリア阻止層が第 1 導電型であり、  
前記不純物拡散領域が第 2 導電型であり、  
前記半導体基板、前記フィルタ層および前記キャリア阻止層の少なくとも 1 つの上に形成された第 1 電極と、  
前記不純物拡散領域上に形成された第 2 電極と、  
前記半導体基板、前記フィルタ層および前記キャリア阻止層の少なくとも一つの上に、絶縁膜を介して形成されたパッド部と、  
前記第 2 電極と前記パッド部とを電気接続する配線とを有することを特徴とする請求項 3 に記載の受光素子。

【請求項 5】 前記半導体基板に入射した入射光を反射して、前記入射光を前記光吸収層に入射させる傾斜部が、前記半導体基板の第 2 主面に形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の受光素子。

【請求項 6】 半導体基板と、  
前記半導体基板の第 2 主面上に形成されたフィルタ層と、  
前記半導体基板の第 1 主面上に島状に形成された光吸収層と、  
前記第 1 主面上の前記光吸収層が形成されていない部分に形成された光入射部とを有し、  
前記フィルタ層の吸収端波長は、前記半導体基板の吸収端波長よりも長く、前記光吸収層の吸収端波長よりも短いことを特徴とする受光素子。

【請求項 7】 前記光吸収層の上に、不純物拡散領域を有するワイドバンドギャップ層が形成されていることを特徴とする請求項 6 に記載の受光素子。

【請求項 8】 前記半導体基板の第 1 主面に傾斜部を有しており、光入射部が前記傾斜部にあることを特徴とする請求項 7 に記載の受光素子。

【請求項 9】 前記光入射部から入射した光が、前記光吸収層に入射するまでに前記フィルタ層を少なくとも 2 回透過することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 8 のいずれかに記載の受光素子。

【請求項 10】 半導体基板と、  
前記半導体基板の第 1 主面側もしくは第 2 主面側に形成されたフィルタ層と、  
前記半導体基板の前記第 1 主面側に島状に形成された光吸収層と、

10 前記半導体基板の前記第 1 主面側に形成された反射膜と、  
前記半導体基板の前記第 2 主面側に形成された光入射部とを有し、  
前記フィルタ層の吸収端波長は、前記半導体基板の吸収端波長よりも長く、前記光吸収層の吸収端波長よりも短いことを特徴とする受光素子。

【請求項 11】 前記光入射部から入射した光が、前記光吸収層に入射するまでに前記フィルタ層を少なくとも 3 回透過することを特徴とする請求項 10 に記載の受光素子。

20 【請求項 12】 前記フィルタ層及び前記キャリア阻止層が単数もしくは複数の島状に形成されており、  
前記半導体基板が半絶縁性であり、  
前記フィルタ層及び前記キャリア阻止層が第 1 導電型であり、  
前記不純物拡散領域が第 2 導電型であり、  
前記光吸収層を有する島における前記フィルタ層もしくは前記キャリア阻止層の上に形成された第 1 電極と、  
前記不純物拡散領域上に形成された第 2 電極と、  
30 前記半導体基板上、あるいは前記第 1 電極が形成された島以外の島をなす前記フィルタ層もしくは前記キャリア阻止層上に形成されたパッド部と、  
前記第 2 電極と前記パッド部とを電気接続する配線とを有することを特徴とする請求項 3 に記載の受光素子。

【請求項 13】 半導体基板と光吸収層の間に形成されたフィルタ層を有する受光素子であって、  
前記半導体基板の第 1 主面側から入射した光が、前記半導体基板の第 2 主面で反射して前記光吸収層に吸収されるまでに前記フィルタ層を少なくとも 2 回以上透過することを特徴とする受光素子。

【請求項 14】 前記フィルタ層の吸収端波長が、前記半導体基板の吸収端波長よりも長く前記光吸収層の吸収端波長よりも短いことを特徴とする請求項 13 に記載の受光素子。

【請求項 15】 実装基板と、前記実装基板内に形成された光導波路と、前記光導波路を伝搬する入射光の進路を前記実装基板の表面方向に偏向させる偏向素子と、前記実装基板に配置された受光素子とを有する受光素子実装体であって、前記受光素子は、

50 半導体基板と、

前記半導体基板の第1主面側および第2主面側の少なくとも一方の側に形成されたフィルタ層と、  
前記半導体基板の前記第1主面側に島状に形成された光吸収層と、  
前記半導体基板の前記第1主面側に形成された光入射部とを有し、  
前記受光素子は前記光入射部が形成された第1主面側を実装基板に向けて配置されていることを特徴とする受光素子実装体。

【請求項16】 前記光導波路が、前記実装基板上に形成された溝に埋め込まれた光ファイバであり、  
前記偏向素子が、前記光ファイバを切断するように前記実装基板上に形成されたスリットに挿入された反射板であり、  
前記受光素子が、前記溝を跨いで前記実装基板上に配置されていることを特徴とする請求項15記載の受光素子実装体。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、受光素子及び受光素子実装体に関する。特に、波長の異なる複数の信号光が入射した際に、波長の長い（長波長側の）信号光を選択的に受光する受光素子に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】現在、光ファイバ通信用の受光素子として、化合物半導体を材料とするpinフォトダイオードが広く用いられている。

【0003】このpinフォトダイオードでは、受光感度を高めるために窓構造が採用されている。これは、半導体基板上に禁制帯幅が小さい（吸収端波長が長い）光吸収層、その光吸収層の上に禁制帯幅が大きい（吸収端波長が短い）フィルタ層（窓層）が形成された構造を有しており、この構造により、光吸収層及びフィルタ層における吸収端波長の光を効率的に受光できるようになっている。

【0004】一般的なpinフォトダイオードとしては、InGaAs/InPを材料とするものがあり、光吸収層の材料としてInGaAs、フィルタ層の材料としてInPが用いられている。この場合、InPの吸収端波長である0.9μmからInGaAsの吸収端波長である1.65μmまでの範囲の波長の信号光を高感度で受光することができる。このpinフォトダイオードの構造は、例えば特開平1-238070号公報に開示されている。

【0005】以下、従来のpinフォトダイオードについて図10を参照しながら説明する。尚、図10は、従来のpinフォトダイオードの断面図である。

【0006】図10に示すように、n<sup>-</sup>-InPの基板101上にn<sup>-</sup>-InPのキャリア阻止層（バッファ層）102、n<sup>-</sup>-InGaAsの光吸収層103、n

-AlAsSbのキャリア阻止層104、及びn<sup>-</sup>-InPのフィルタ層105が順次積層されている。ここで、AlAsSbの禁制帯幅は、InPの禁制帯幅よりも大きく、その吸収端波長は0.67μmである。

【0007】フィルタ層105及びキャリア阻止層104には、Znが拡散されてなるp<sup>+</sup>の拡散領域106が形成されており、その上には表面保護膜107が形成されている。また、拡散領域106上には、リング状のアンード電極108が形成されており、そして、基板101の裏面には、カソード電極109が形成されている。

【0008】なお、図10に示したpinフォトダイオードは、キャリア阻止層104が形成されているので、キャリア阻止層104が形成されていないpinフォトダイオードと比較して、0.9μm以下の波長の信号光に対する感度を良くすることができる。

【0009】その理由を述べると、波長0.9μm以下の信号光は、フィルタ層105で吸収されて電子-正孔対を発生するのであるが、キャリア阻止層104が形成されていないpinフォトダイオードの場合、フィルタ層105で発生した電子の一部が光吸収層103に流入して光電流となるのに対し、キャリア阻止層104があると、フィルタ層105とキャリア阻止層104との界面のヘテロ障壁で電子がくい止められて光電流とならないためである。

【0010】また、より狭い波長範囲の光のみに感度を有するパスバンド型のpinフォトダイオードも開発されている。例えば、波長が1.3μmの信号光と波長が1.55μmの信号光によって波長多重通信を行う際には、それぞれの波長のみに感度を有するパスバンド型のpinフォトダイオードが有用である。

【0011】ここで、波長が1.3μmの信号光に対しては十分な感度があるものの、波長が1.55μmの信号光に対してはほとんど感度がないという短波長パスバンド特性を有するpinフォトダイオードは、InGaAsで構成される上記pinフォトダイオードの光吸収層の材料を吸収端波長が1.4μmのInGaAsPとすることによって容易に実現することができる。

【0012】一方、波長が1.55μmの信号光に対しては十分な感度があるが、波長が1.3μmの信号光に対してはほとんど感度がないという長波長パスバンド特性を得るには、キャリア阻止層104の材料をInP、フィルタ層105の材料を吸収端波長が1.4μmのInGaAsPとすることで実現可能である。尚、キャリア阻止層104の禁制帯幅はフィルタ層105の禁制帯幅よりも大きいという関係は維持する。

##### 【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のパスバンド特性を有するpinフォトダイオードでは、長波長側の信号光と短波長側の信号光に対する感度差を大きくするためにはフィルタ層105を厚くする必要が

ある。

【0014】ここで、長波長パスバンド特性のpinフォトダイオードを実現するためには、フィルタ層105の材料をInGaAsPとする必要があることは前述の通りだが、InGaAsPを厚くエピタキシャル成長するとInGaAsPの組成が変動を生じやすいという問題がある。

【0015】一方、フィルタ層105に島状にZn等の不純物を拡散して拡散領域を形成するプレーナ型のpinフォトダイオードでは、キャリア阻止層104の厚さは1~2 $\mu$ mであり、通常この深さまで不純物拡散を行うことになる。

【0016】つまり、従来のpinフォトダイオードにおいて、フィルタ層105の材料をInGaAsPとし、そのフィルタ層105を厚くエピタキシャル成長できたとしても、不純物拡散を深く制御良く行うことは困難であるという課題があった。尚、キャリア阻止層104及びフィルタ層105をあらかじめp型にドーピングしておいて、エッチングによって素子を分離するメサ型のpinフォトダイオードとすれば島状の部分的な不純物拡散の必要はなくなるが、特にInGaAs/InP系ではメサ型のpinフォトダイオードは暗電流が大きく、不純物拡散で作製したプレーナ型のものと比較すると信頼性が低い。

【0017】本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、薄いフィルタ層としても高い感度比が得られ、受光部における不純物拡散の深さは従来のpinフォトダイオードと同等である長波長パスバンド特性の受光素子を提供することを主な目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明に係る第1の受光素子は、半導体基板と、前記半導体基板の第1主面上に形成されたフィルタ層と、前記フィルタ層上に島状に形成された光吸収層と、前記フィルタ層上の前記光吸収層が形成されていない部分に形成された光入射部とを有し、前記フィルタ層の吸収端波長は、前記半導体基板の吸収端波長よりも長く、前記光吸収層の吸収端波長よりも短いことを特徴とする。

【0019】第1の受光素子によると、半導体基板の第1主面側に形成された光入射部から斜めに入射した入射光が第2主面で反射されて光吸収層に入射するまでに、その入射光は半導体基板と光吸収層との間に形成されたフィルタ層を2回透過する。すなわち、入射光がフィルタ層を1回透過する構造の受光素子に対して、フィルタ層の厚さを実質的に2倍とすることができる。

【0020】さらに、第1の受光素子は、前記半導体基板の第2主面に反射膜が形成されていることが好ましい。

【0021】さらに、第1の受光素子は、前記フィルタ層と前記光吸収層との間に形成された、前記フィルタ層

よりも禁制帯幅の大きい材料よりなるキャリア阻止層と、前記光吸収層の上に形成された不純物拡散領域を有するワイドバンドギャップ層とを有することが好ましい。

【0022】この構成により、フィルタ層は光吸収層と半導体基板の間にあるので、光吸収層の上にワイドバンドギャップ層を積層して受光部を不純物拡散によって形成したプレーナ型pinフォトダイオードとすることも容易であり、フィルタ層の厚さを実質的に2倍とすることができるので、不純物拡散の深さは従来のpinフォトダイオードと同等とすることができる。また、フィルタ層と光吸収層の間にフィルタ層よりも禁制帯幅の大きい材料よりなるキャリア阻止層を挿入すれば、フィルタ層で生成されたキャリアが光吸収層に流入するのを防ぐことができる。

【0023】さらに、第1の受光素子は、前記半導体基板、前記フィルタ層及び前記キャリア阻止層が第1導電型であり、前記不純物拡散領域が第2導電型であり、前記半導体基板、前記フィルタ層および前記キャリア阻止層の少なくとも1つの上に形成された第1電極と、前記不純物拡散領域上に形成された第2電極と、前記半導体基板、前記フィルタ層および前記キャリア阻止層の少なくとも1つの上に絶縁膜を介して形成されたパッド部と、前記第2電極と前記パッド部とを電気接続する配線とを有することが好ましい。

【0024】この構成により、半導体基板の第1主面側にp側及びn側電極を共に形成することができ、フリップチップボンディングを容易に行うことができる。また、p側電極を実装基板にボンディングするパッドを島状の光吸収層の外に形成することで、光吸収層メサと拡散領域の大きさの差を小さくできるので、拡散領域の下部以外の光吸収層に入射光が入射することで発生するテールカレントを抑制することができる。

【0025】本発明に係る第2の受光素子は、第1の受光素子において、さらに前記半導体基板に入射した入射光を反射して、前記入射光を前記光吸収層に入射させる傾斜部が、前記半導体基板の第2主面に形成されていることを特徴とするものである。

【0026】この構成により、第1主面に垂直に入射した入射光を傾斜部により反射させることができるので、入射光を垂直入射させた場合も入射光を光吸収層に入射させることができる。

【0027】本発明に係る第3の受光素子は、半導体基板と、前記半導体基板の第2主面上に形成されたフィルタ層と、前記半導体基板の第1主面上に島状に形成された光吸収層と、前記第1主面上の前記光吸収層が形成されていない部分に形成された光入射部とを有し、前記フィルタ層の吸収端波長は、前記半導体基板の吸収端波長よりも長く、前記光吸収層の吸収端波長よりも短いことを特徴とするものである。

【0028】この構成においても、第1の受光素子と同様に、半導体基板の第1主面側に形成された光入射部から斜めに入射した入射光が第2主面で反射されて光吸収層に入射するまでに、その入射光は半導体基板と光吸収層との間に形成されたフィルタ層を2回透過する。すなわち、入射光がフィルタ層を1回透過する構造の受光素子に対して、フィルタ層の厚さを実質的に2倍とすることができる。

【0029】さらに、第3の受光素子は、前記光吸収層の上に形成された不純物拡散領域を有するワイドバンドギャップ層を有することが好ましい。

【0030】本発明に係る第4の受光素子は、第3の受光素子において、さらに前記半導体基板の第1主面に傾斜部を有しており、光入射部が前記傾斜部にあるものである。

【0031】この構成により、第1主面に垂直に入射した入射光は傾斜部により屈折させることができるので、垂直入射の場合も入射光を光吸収層に入射させることができる。

【0032】さらに、第1～第4の受光素子は、前記光入射部から入射した光が、前記光吸収層に入射するまでに前記フィルタ層を少なくとも2回透過することが好ましい。

【0033】本発明に係る第5の受光素子は、半導体基板と、前記半導体基板の第1主面側もしくは第2主面側に形成されたフィルタ層と、前記半導体基板の前記第1主面側に島状に形成された光吸収層と、前記半導体基板の前記第1主面側に形成された反射膜と、前記半導体基板の前記第2主面側に形成された光入射部とを有し、前記フィルタ層の吸収端波長は前記半導体基板の吸収端波長よりも長く、前記光吸収層の吸収端波長よりも短いことを特徴とするものである。

【0034】この構成により、入射光は半導体基板の第2主面側に形成された光入射部から入射するが、通常の裏面入射型pinフォトダイオードのようにそのまま第1主面側の光吸収層に入射するのではなく、第1主面側に形成された反射膜で反射され、さらに第2主面で反射された後に光吸収層に入射させることができる。この場合、入射光は3回フィルタ層を透過することになるので、入射光が透過するフィルタ層の厚さを実質的に3倍とすることができる。

【0035】さらに、第5の受光素子は、前記光入射部から入射した光が、前記光吸収層に入射するまでに前記フィルタ層を少なくとも3回透過することが好ましい。

【0036】本発明に係る第6の受光素子は、前記フィルタ層及び前記キャリア阻止層が単数もしくは複数の島状に形成されており、前記半導体基板が半絶縁性であり、前記フィルタ層及び前記キャリア阻止層が第1導電型であり、前記不純物拡散領域が第2導電型であり、前記光吸収層を有する島における前記フィルタ層もしくは

前記キャリア阻止層上に形成された第1電極と、前記不純物拡散領域上に形成された第2電極と、前記半導体基板上、あるいは前記第1電極が形成された島以外の島をなす前記フィルタ層もしくは前記キャリア阻止層上に形成されたパッド部と、前記第2電極と前記パッド部とを電気接続する配線とを有することを特徴とするものである。

【0037】この構成により、半絶縁性の半導体基板を用いることで、p側電極のパッド容量が素子容量に付加されることを防止することができる。

【0038】本発明に係る受光素子実装体は、実装基板と、前記実装基板内に形成された光導波路と、前記光導波路を伝搬する入射光の進路を前記実装基板の表面方向に偏向させる偏向素子と、前記実装基板に配置された受光素子とを有する受光素子実装体であって、前記受光素子は、半導体基板と、前記半導体基板の第1主面側および第2主面側の少なくとも一方の側に形成されたフィルタ層と、前記半導体基板の前記第1主面側に島状に形成された光吸収層と、前記半導体基板の前記第1主面側に形成された光入射部とを有し、前記受光素子は前記光入射部が形成された第1主面側を実装基板に向けて配置（または固着）されていることを特徴とするものである。

【0039】この構成により、受光素子をフリップチップボンディングして実装基板側から容易に光学結合できるので、ワイヤボンディングした場合と比較して実装に伴う寄生容量が低減され、高速動作が可能になる上に、ボンディングした時点で光学結合も完了するので光学結合のための実装工程が不要になる。

【0040】さらに、受光素子実装体は、前記光導波路が、前記実装基板上に形成された溝に埋め込まれた光ファイバであり、前記偏向素子が、前記光ファイバを切断するように前記実装基板上に形成されたスリットに挿入された反射板であり、前記受光素子が、前記溝を跨いで前記実装基板に配置（または固着）されていることが好ましい。

【0041】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら、本発明の実施形態に係る受光素子及び受光素子実装体を説明する。以下の図面においては、説明の簡潔化のため、実質的に同一の機能を有する構成要素を同一の参照符号で示す。なお、本発明は以下の実施形態に限定されない。

【0042】（第1の実施形態）以下、図1を参照しながら、本発明の第1の実施形態に係る受光素子を説明する。尚、図1(a)は、第1の実施形態に係る受光素子の平面図であり、図1(b)は、図1(a)におけるX-X線に沿う断面図であり、図1(c)は、図1(a)におけるY-Y線に沿う断面図である。

【0043】本実施形態の受光素子は、半導体基板1と、半導体基板1の第1主面2上に形成されたフィルタ

層3と、フィルタ層3上に島状に形成された光吸収層5とを有している。ここで、フィルタ層3の吸収端波長は、半導体基板1の吸収端波長よりも長く、光吸収層5の吸収端波長よりも短い。そして、フィルタ層3上の光吸収層5が形成されていない部分に、光入射部10が形成されている。なお、フィルタ層3と光吸収層5との間には、フィルタ層3よりも禁制帯幅の大きい材料から構成されたキャリア阻止層（バッファ層）4が形成されていることが好ましい。

【0044】図1に示した受光素子は、InGaAs/InP系pinフォトダイオードであり、本実施形態の構成では、図1(b)に示すように、n型InPよりなる半導体基板1の第1主面2上に、吸収端波長が1.4  $\mu\text{m}$ のn型InGaAsPよりなるフィルタ層3及びn型InPよりなるキャリア阻止層（バッファ層）4が順次積層され、さらにキャリア阻止層4の上に島状の低濃度n型InGaAsよりなる光吸収層5及び低濃度n型InPよりなるワイドバンドギャップ層（窓層）6が積層されている。ワイドバンドギャップ層6も、キャリア阻止層4と同様に、フィルタ層3よりも禁制帯幅の大きい材料から構成されている。ワイドバンドギャップ層6の中央部には、p型不純物（例えば、ZnまたはBeなど）が拡散された拡散領域7が形成されている。また、キャリア阻止層4の上には円状のn側電極8、拡散領域7の上にはリング状のp側電極9が形成されている。

【0045】また、図1(c)に示すように、光吸収層5とは離してキャリア阻止層4上には円状の光入射部10が形成されており、光入射部10とp側電極9の内側にはSiNよりなる反射防止膜11が堆積されている。反射防止膜11は、拡散領域7の上にも形成されている。

【0046】さらに、図1(a)、(b)に示すように、露出したキャリア阻止層4の表面は、受光素子周辺部のスクライプレーン12を除いて、SiNとSiO<sub>2</sub>とが積層してなる絶縁膜13によって覆われている。この絶縁膜13上に形成された導電体であるパッド（パッド電極）14は、配線15を介して、p側電極9と電気的に接続されている。本実施形態では、パッド14とn側電極8は、光入射部10及び光吸収層5の中心を結ぶ線に対して対称の位置に形成されている。なお、n側電極8、p側電極9、パッド14及び配線15は、例えばTi/Pt/Auの積層金属膜より形成されており、これらのパターンは、1回の蒸着およびリフトオフ工程によって一括して形成することも可能である。

【0047】また、半導体基板1の第2主面16には、入射光を反射させるための反射膜17が形成されている。反射膜17は金属膜のみで構成してもよいが、誘電体と金属、例えばSiNとAlの積層構造とすれば、より高い反射率を得ることができる。これは、半導体基板1に金属膜を直接形成すると、両者の間で合金反応が起

きてしまい、適切な反射面が形成されない場合があるためである。もちろん、合金反応が起こり難い金属を用いれば、その問題を回避することができるが、反応し難い金属は、密着性が悪いことが多く、それゆえに、誘電体を介して金属膜を形成することが望ましい。

【0048】第1の実施形態に係る受光素子では、図1(c)に示すように入射光18が光入射部10から斜めに入射すると、半導体基板1の第2主面16で反射されて光吸収層5に入射する。従って、入射光18は半導体基板1に入射する前と光吸収層5に入射する前の2回、フィルタ層3を透過する。すなわち、入射光18が透過するフィルタ層3の厚さを実質的に2倍の厚さとすることができる。

【0049】次に、入射光がフィルタ層を1回透過する従来の受光素子と比較しながら、入射光がフィルタ層を2回透過する本発明の第1の実施形態に係る受光素子についてさらに説明する。

【0050】短波長及び長波長の異なる波長を有する信号光が入射すると、短波長側の信号光は光吸収層に到達する前にフィルタ層で吸収される。この短波長側の信号光のフィルタ層での光吸収量は、フィルタ層の厚さをd、短波長側の信号光に対する吸収係数を $\alpha$ として、 $1 - \exp(-\alpha d)$ の数式で与えられる。

【0051】例えば、従来の受光素子において、感度比20dBを得ようとすればフィルタ層における吸収量を99%にしなければならず、吸収係数 $\alpha$ を $1 \mu\text{m}^{-1}$ とし、これらを上記数式に代入し、フィルタ層の厚さdを求めると、フィルタ層の厚さdは約4.6  $\mu\text{m}$ 必要となることがわかる。

【0052】しかし、本発明の第1の実施形態に係る受光素子においては、フィルタ層3の厚さを2.3  $\mu\text{m}$ としておけば、入射光はフィルタ層3を2回透過するので、入射光18は2.3  $\mu\text{m}$ の約2倍、すなわち約4.6  $\mu\text{m}$ の厚さのフィルタ層を透過することになり、1.55  $\mu\text{m}$ の波長の信号光と1.3  $\mu\text{m}$ の波長の信号光の感度比として20dBを得ることができる。これにより、InGaAsPを必要以上に厚くエピタキシャル成長させることがなくなるので、InGaAsPの組成が変動することを無くすることができる。

【0053】また、フィルタ層3と光吸収層5の間に、フィルタ層3よりも禁制帯幅の大きい材料よりなるキャリア阻止層4が挿入されているので、フィルタ層3で生成されたキャリアが光吸収層5に流入して感度比が低下することもない。

【0054】ここで、フィルタ層3によるフィルタ機能、および、キャリア阻止層4のキャリア阻止機能について説明する。

【0055】まず、フィルタ層3について説明する。フィルタ層3を構成するInGaAsPは、その組成により異なる吸収端波長を有するので、その組成を変えるこ

とにより、透過させたい光または透過させたくない光の波長を選択することができる。つまり、InGaAsPからなる層3は、フィルタとして機能させることができる。

【0056】InGaAsPは、 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ と表され、そしてxとyとの間には $y=2.12x$ の関係がある。すなわち、 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ の組成には一次元の自由度があり、組成xまたはyの値を規定すると、所定の吸収端波長を有するInGaAsPが一義的に決定される。言い換えると、InGaAsPの組成は、InGaAsPの吸収端波長によっても表現することができる。

【0057】図2は、波長とInGaAsPの光吸収との関係を示すグラフである。本明細書では、 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ ) において光\*

\*が吸収される最大波長を吸収端波長と定義する。図2に示すように、GaおよびAsが含まれていないInP ( $x=0, y=0$ ) の場合、吸収端波長は $0.93 \mu\text{m}$ であり、InGaAsP系材料の中では、吸収端波長は最も小さい。一方、Pが含まれていない $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$  ( $y=1$ ) では、吸収端波長は $1.6 \mu\text{m}$ よりも大きく、InGaAsP系材料では、吸収端波長は最も大きい。InGaAsP系材料の吸収端波長は、組成xとyとを考慮することにより、この上端と下端との間の任意の値に設定され得る。

【0058】 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  の吸収端波長 $\lambda_g$ と、組成x、yとの関係を下記表1に示す。なお、参考までに、禁制帯幅 $E_g$ もあわせて示す。

【0059】

【表1】

吸収端波長 $\lambda_g(\mu\text{m})$	禁制帯幅 $E_g(\text{eV})$	組成x	組成y	備考
0.92	1.35	0.00	0.00	InP
1.00	1.24	0.07	0.16	$\text{In}_{0.71}\text{Ga}_{0.29}\text{As}_{0.61}\text{P}_{0.39}$
1.25	0.99	0.26	0.55	
1.30	0.95	0.29	0.61	
1.35	0.92	0.32	0.68	
1.50	0.83	0.40	0.85	
1.55	0.80	0.42	0.90	$\text{In}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{As}$
1.65	0.75	0.47	1.00	

【0060】このように、組成x、yの値を定めることにより、例えば、 $1.0 \mu\text{m}$ 、 $1.30 \mu\text{m}$ 、 $1.5 \mu\text{m}$ などの吸収端波長を有するInGaAsP層を得ることができる。

【0061】次に、キャリア阻止層4について説明する。フィルタ層3と光吸収層5の間に位置するキャリア阻止層4は、フィルタ層3にて生じたキャリアが光吸収層5に拡散することを防止する機能を有している。したがって、キャリア阻止層4によって、フィルタ層3で光励起された電子-正孔対の正孔が光吸収層5に拡散することを防止することができる。図3は、本実施形態の受光素子の各層(1、3、4、5および6)のバンドギャップを模式的に示しており、黒丸は電子を表し、白丸は正孔を表している。

【0062】本実施形態の受光素子の場合、半導体基板1の第2主面16で反射されて光吸収層5に光が入射するので、従来例の表面入射のときと異なり、入射光は、光吸収層5の前に、先にフィルタ層3に達する。半導体基板1を構成するInPは、バンドギャップが比較的大きいため、光ファイバ通信の波長 $1.3 \mu\text{m}$ または $1.55 \mu\text{m}$ の光を透過させるが(図2および表1参照)、InP基板1よりバンドギャップが小さいフィルタ層3では、入射光によって光励起が起こり電子-正孔

対が生じる可能性がある。この電子-正孔対の正孔が光吸収層5へと拡散することを防止するため、フィルタ層3と光吸収層5の間に、フィルタ層3よりもバンドギャップが大きいInPキャリア阻止層4が挿入されている。この構成では、フィルタ層3で発生した電子-正孔対の正孔は、光吸収層5に拡散できずに、そのままフィルタ層3内で再結合することになるため、光電流は発生しない。

【0063】なお、従来例のような表面入射の場合には、ワイドバンドギャップ層6は、窓層(ウィンドウ層)としての機能を果たし得るものであるが、本実施形態のように半導体基板1の第2主面16で反射されて光吸収層5に光を入させる場合には、ワイドバンドギャップ層6は、窓層としての役割ではなく、p-n接合の逆方向リーク電流を低減させるという役割を専ら果たすものである。より詳細に説明すると、InGaAs/InP系pinフォトダイオードでは、光吸収層5であるInGaAs層の表面にp-n接合が露出すると、リーク電流が大きくなることが知られている。しかし、InGaAs層5の上にInPワイドバンドギャップ層6が設けられている場合には、ワイドバンドギャップ層6の表面にp-n接合が露出して、InGaAs層5の表面にはp-n接合が露出しないので、ワイドバンドギャップ



層6がない場合と比べて、リーク電流の低減を図ることができる。

【0064】本実施形態の構成では、半導体基板1の第1主面2側に形成された光吸収層5に入射光18は直接入射しないものの、光入射部10は第1主面2側にあるので、本実施形態の受光素子は表面入射型である。また、本実施形態の受光素子は、光吸収層5の上にワイドバンドギャップ層6を積層して受光部を不純物拡散によって形成したプレーナ型のものであり、フィルタ層3は光吸収層5と半導体基板1の間にあるので、不純物拡散の深さは従来のプレーナ型のpinフォトダイオードと同等である。従って、不純物拡散を深くすることなく、感度比を向上させることができる。さらに、半導体基板1の第1主面2側にp側及びn側電極が共に形成されているので、容易にフリップチップボンディングすることができる。また、不純物が拡散されないワイドバンドギャップ層6の上を絶縁膜13により覆っているので、拡散領域7の下部以外の光吸収層5に入射光18が入射することで発生するテールカレントを抑制することができる。

【0065】なお、第1の実施形態に係る受光素子においてp側電極9の内側に反射防止膜11を堆積しているのは、検査工程で光吸収層5の上部から直接光を入射するときに入射する光が反射しないようにするためである。ただし、受光素子実装体の構成によっては、入射光18の散乱光が光吸収層5の上部から入射して感度比を劣化させる場合もあるので、この場合は、p側電極9をリング状ではなく円形として、光吸収層上部からの入射光を遮光する方が望ましい。また、第1の実施形態に係る受光素子では、n側電極8及びパッド14はキャリア阻止層4上に形成されているが、これらをフィルタ層3上、あるいは半導体基板1上に形成してもよい。フィルタ層3は、キャリア阻止層4よりも禁制帯幅が小さく、半導体基板1はキャリア阻止層4よりもキャリア濃度が高い場合が多いので、これらの上にn側電極を形成した方がコンタクト抵抗を低減できる場合があるからである。また、フリップチップボンディングをする際には、n側電極8とパッド14の高さが揃っていた方がよいので、パッド14はn側電極8と同一の半導体層上に形成するのが望ましい。

【0066】本実施形態の受光素子の他の条件を例示的に示すと、以下のようである。なお、本発明は、これらの条件に限定されず、適時好適な条件を設定することが可能である。

【0067】半導体基板(InP基板)1の厚さは、150~200 $\mu\text{m}$ 程度である。不純物拡散領域9を含むワイドバンドギャップ層6および光吸収層5からなる島状構造体(受光部メサ)の高さは、2.5~5 $\mu\text{m}$ 程度である。なお、本明細書において、「島状」とは、平面領域内において囲まれたある一定領域からなる形状のこ

とを意味し、図1に示した凸状の島構造の形状を専ら意味するが、それだけでなく、一部または全部が埋め込まれた構造の形状も含むものである。

【0068】フィルタ層3の厚さは、2~3 $\mu\text{m}$ 程度であり、キャリア阻止層4の厚さは、1~2 $\mu\text{m}$ 程度である。光吸収層5の厚さは、1.5~3 $\mu\text{m}$ 程度であり、そのメサ形状は、直径100~140 $\mu\text{m}$ の円形である。ワイドバンドギャップ層6の厚さは、1~2 $\mu\text{m}$ であり、そのメサ形状は、直径100~140 $\mu\text{m}$ の円形である。ワイドバンドギャップ層6内の拡散領域7の形状は、直径80~120 $\mu\text{m}$ の円形である。反射膜17の厚さは、0.2~0.4 $\mu\text{m}$ 程度である。なお、それぞれの形状は、基板法線方向(受光素子の上方)から見た形状である。

【0069】また、キャリア濃度の関係を示すと、キャリア阻止層4(あるいは、フィルタ層3)(n<sup>+</sup>層)のキャリア濃度は高く、一方、光吸収層5(n<sup>-</sup>層またはi層)のキャリア濃度は低い。本実施形態では、キャリア濃度の低い層(n<sup>-</sup>層)からワイドバンドギャップ層6を構成したが、ワイドバンドギャップ層6のキャリア濃度は特に限定されない。

【0070】(第2の実施形態)次に、図4を参照しながら、本発明の第2の実施形態に係る受光素子を説明する。尚、図4(a)は、第2の実施形態に係る受光素子の平面図であり、図4(b)は、図4(a)におけるX-X線に沿う断面図であり、図4(c)は、図4(a)におけるY-Y線に沿う断面図である。ここで、図4(d)は、半導体基板1を裏面からみた場合の傾斜部19の箇所を形状を示す裏面図である。

【0071】第2の実施形態に係る受光素子が、第1の実施形態に係る受光素子と異なる点は、図4(c)に示すように、半導体基板1の第2主面16に傾斜部19を有する凹部が形成され、傾斜部19を有する半導体基板1の第2主面16に反射膜20が形成されている点である。なお、入射光18は傾斜部19に入射することになるので、傾斜部19にのみ反射膜20を形成してもよい。また、傾斜部19は光入射部10に対向する位置にあり、傾斜部19の半導体基板1に対する傾斜角度は、入射光18が傾斜部19で反射して光吸収層5に入射するように形成する。傾斜角は、例えば、15~35度の範囲で適宜好適な値を設定すればよい。なお、所定の結晶面が露出するようにして傾斜部19を形成すれば、傾斜角を精度の高く且つ容易に設定することが可能となる。

【0072】なお、説明の簡略化のため、第1の実施形態に係る受光素子と同じ構成要素には、同じ符号を付しており、ここではその説明を省略する。

【0073】第2の実施形態に係る受光素子では、第1主面2に垂直に入射した入射光18は、光入射部10から半導体基板1に対して垂直に入射した後、傾斜部19

で反射されて光吸収層5に入射する。

【0074】第2の実施形態に係る受光素子は、第1の実施形態に係る受光素子とは異なり、受光素子の実装形態に応じて垂直入射がより適した場合に用いることができる。なお、第2の実施形態に係る受光素子は、第1の実施形態に係る受光素子と同様に、入射光18がフィルタ層3を2回透過するので、実質的に2倍の厚さのフィルタ層を透過する効果があることは言うまでもない。

【0075】(第3の実施形態)次に、図5を参照しながら、本発明の第3の実施形態に係る受光素子を説明する。尚、図5(a)は、第3の実施形態に係る受光素子の平面図であり、図5(b)は、図5(a)におけるX-X線に沿う断面図であり、図5(c)は、図5(a)におけるY-Y線に沿う断面図である。

【0076】第3の実施形態に係る受光素子が、第1の実施形態に係る受光素子と異なる点は、図5(c)に示すように、半導体基板1の第1主面2上にフィルタ層3が形成されているのではなく、半導体基板1の第2主面16上にフィルタ層21が形成され、フィルタ層21の上に反射膜17が形成されている点である。また、キャリア阻止層は形成されていない。

【0077】なお、説明の簡略化のため、第1の実施形態に係る受光素子と同じ構成要素には、同じ符号を付しており、ここではその説明を省略する。

【0078】第3の実施形態に係る受光素子は、第1の実施形態に係る受光素子と同様に、入射光18は半導体基板1の第2主面16で反射する前後の2回、フィルタ層21を透過する。すなわち、入射光18が透過するフィルタ層21の厚さを実質的に2倍の厚さとすることができる。

【0079】また、入射光18は半導体基板1の第1主面2側に形成された光入射部10から入射するので、表面入射型である。さらに、フィルタ層21は半導体基板1の第2主面16上にあるので、光吸収層5の上にワイドバンドギャップ層6を積層した受光部を不純物拡散によって形成したプレーナ型pinフォトダイオードとすることも容易であり、不純物拡散の深さは従来のpinフォトダイオードと同等である。さらに、第3の実施形態に係る受光素子では、半導体基板1そのものが、フィルタ層21で生成されたキャリアが光吸収層5に流入するのを防ぐ役割をしているので、特にキャリア阻止層を設ける必要はない。

【0080】なお、第3の実施形態に係る受光素子と第1の実施形態に係る受光素子を組合せた構成、すなわち半導体基板1の第1主面2上と第2主面16上にもともにフィルタ層を形成するということが可能である。この構造では、上下のフィルタ層を2回ずつ、即ち4回フィルタ層を透過させることができるので、フィルタ層の厚さを実質的に4倍の厚さとすることができ、実質的に4倍の感度比を得ることができる。フィルタ層となるInG

aAsP層を厚くエピタキシャル成長させると組成の変動を生じやすいことは前述の通りだが、半導体基板1の第1主面2上と第2主面16上であれば、それぞれ厚さ2.3 $\mu$ mのフィルタ層を形成することは容易である。この場合、入射光は厚さ約9.2 $\mu$ mのフィルタ層を透過することになり、波長1.55 $\mu$ mの信号光と波長1.3 $\mu$ mの信号光の感度比として約40dBを得ることができる。

【0081】(第4の実施形態)次に、図6を参照しながら、本発明の第4の実施形態に係る受光素子を説明する。尚、図6(a)は、第4の実施形態に係る受光素子の平面図であり、図6(b)は、図6(a)におけるX-X線に沿う断面図であり、図6(c)は、図6(a)におけるY-Y線に沿う断面図である。

【0082】第4の実施形態に係る受光素子が、第3の実施形態に係る受光素子と異なる点は、図6(c)に示すように、半導体基板1の第1主面2に傾斜部22を有する凹部が形成された点である。

【0083】なお、説明の簡略化のため、第3の実施形態に係る受光素子と同じ構成要素には、同じ符号を付しており、ここではその説明を省略する。

【0084】また、光入射部10は傾斜部22に形成されており、光入射部10から入射した入射光18は傾斜部22で屈折されてから半導体基板1に入射した後、第2主面16で反射されて光吸収層5に入射する。第3の実施形態に係る受光素子のように、傾斜部22がなく、第1主面2と第2主面16とが平行な構造の受光素子の場合においては、入射光18を光吸収層5に入射させるためには入射光18を斜めに入射する必要がある。しかし、第4の実施形態に係る受光素子のように第2主面16に傾斜部22を形成しておき、傾斜部22で入射光18を屈折するようにすれば、第1主面2に垂直に入射した入射光18を光吸収層5に入射させることができる。なお、第4の実施形態に係る受光素子は、第3の実施形態に係る受光素子と同様に、入射光18がフィルタ層21を2回透過するので、実質的に2倍の厚さのフィルタ層を透過する効果があることは言うまでもない。

【0085】(第5の実施形態)次に、図7を参照しながら、本発明の第5の実施形態に係る受光素子を説明する。尚、図7(a)は、第5の実施形態に係る受光素子の平面図であり、図7(b)は、図7(a)におけるX-X線に沿う断面図であり、図7(c)は、図7(a)におけるY-Y線に沿う断面図である。ここで、図7(d)は、半導体基板1を裏面からみた場合の傾斜部19の箇所を形状を示す裏面図である。

【0086】第5の実施形態に係る受光素子が、第1の実施形態に係る受光素子と異なる点は、図7(c)に示すように、光入射部23が半導体基板1の第2主面16上に形成されるとともに、第1主面2上のキャリア阻止層4上には第2の反射膜24が形成された点である。な

お、第2主面16において、光入射部23が形成された部分には反射膜17は形成されていない。

【0087】なお、説明の簡略化のため、第1の実施形態に係る受光素子と同じ構成要素には、同じ符号を付しており、ここではその説明を省略する。

【0088】第5の実施形態に係る受光素子によると、第2主面16上に形成された光入射部23から入射した入射光は、第1主面2上の反射膜24で反射され、さらに第2主面16上の反射膜17で反射された後に光吸収層5に入射する。この場合、入射光18は光吸収層5に達するまでにフィルタ層3を3回透過することになる。例えばフィルタ層3の厚さを2.3 $\mu\text{m}$ としておけば、入射光18は厚さ6.9 $\mu\text{m}$ のフィルタ層を透過することになり、波長1.55 $\mu\text{m}$ の信号光と波長1.3 $\mu\text{m}$ の信号光の感度比として30dBを得ることができる。この構成は、特に裏面入射型が望ましい受光素子の場合において有効であり、入射光18が透過するフィルタ層3の厚さを実質的に3倍の厚さとすることができる。

【0089】なお、光入射部23と光吸収層5の距離を大きくし、反射膜24の大きさを大きく若しくは反射膜24を複数設けることにより、フィルタ層を5回、または $2n+1$  ( $n$ は2以上の自然数)回透過する構成の受光素子を実現できる。また、光入射部24を半導体基板1の第1主面2側に形成する構成の表面入射型の受光素子とすることにより、入射光18が光吸収層5に達するまでに4回、または $2n$  ( $n$ は2以上の自然数)回フィルタ層を透過する構成の受光素子を実現できる。

【0090】(第6の実施形態)次に、図8を参照しながら、本発明の第6の実施形態に係る受光素子を説明する。尚、図8(a)は、第6の実施形態に係る受光素子の平面図であり、図8(b)は、図8(a)におけるX-X線に沿う断面図であり、図8(c)は、図8(a)におけるY-Y線に沿う断面図である。

【0091】図8(b)に示すように、半絶縁性InPよりなる半導体基板25の第1主面26上に、吸収端波長が1.4 $\mu\text{m}$ のn型InGaAsPよりなるフィルタ層27及びn型InPよりなるキャリア阻止層28が積層された2つの島、第1メサ29及び第2メサ30が形成されている。第1メサ29上に島状の低濃度n型InGaAsよりなる光吸収層31及び低濃度n型InPよりなるワイドバンドギャップ層32が積層されている。ワイドバンドギャップ層32の中央部には、Zn等のp型不純物が拡散された拡散領域33があり、第1メサ29をなすキャリア阻止層28上にn側電極34、拡散領域33上にp側電極35が形成されている。n側電極34は、第1のメサ29上を占めるように形成されている。

【0092】また、図8(a)、(c)に示すように、第1メサ29において、光吸収層31と離してキャリア阻止層28上に光入射部36が形成され、光入射部36

の内側にはSiNよりなる反射防止膜37が堆積されている。

【0093】さらに、図8(a)、(b)に示すように、露出した半導体層表面は、周辺部のスクライブレイン38を除いてSiNとSiO<sub>2</sub>が積層された絶縁膜39によって覆われており、第2メサ30上に絶縁膜39を介して形成されたパッド40はp側電極35と配線41によって接続されている。n側電極34、p側電極35、パッド40及び配線41は、例えばTi/Pt/Auの積層金属膜よりなっており、1回の蒸着、リフトオフ工程で一括して形成することも可能である。

【0094】また、半導体基板25の第2主面42には、光を反射する反射膜43が形成されている。反射膜43は金属膜のみで構成してもよいが、誘電体と金属、例えばSiNとAlの積層構造とすれば、より高い反射率を得ることができる。

【0095】第6の実施形態に係る受光素子は、第1の実施形態に係る受光素子と同様に、入射光44は基板25に入射する前と光吸収層31に入射する前の2回、フィルタ層27を透過する。すなわち、入射光44が透過するフィルタ層27の厚さを実質的に2倍の厚さとすることができる。また、フィルタ層27と光吸収層31の間にフィルタ層27よりも禁制帯幅の大きい材料よりなるキャリア阻止層28が挿入されているので、フィルタ層27で生成されたキャリアが光吸収層31に流入して感度比が低下することもない。

【0096】なお、入射光44は半導体基板25の第1主面26側に形成された光吸収層31に直接入射しないが、光入射部36は第1主面26側にあるので、第6の実施形態に係る受光素子は表面入射型である。また、第6の実施形態に係る受光素子は、光吸収層31の上にワイドバンドギャップ層32を積層して受光部を不純物拡散によって形成したプレーナ型のものであり、フィルタ層27は光吸収層31と半導体基板25の間にあるので、不純物拡散の深さは第1の実施形態に係る受光素子と同等である。さらに、半導体基板25の第1主面26側にp側及びn側電極が共に形成されているので、容易にフリップチップボンディングすることができる。

【0097】以上の効果は第1の実施形態に係る受光素子と同様であるが、さらに第6の実施形態に係る受光素子は、半絶縁性の半導体基板25を用いてp側電極35のパッド40の部分と光吸収層31の部分とがメサ状(島状)に分離されている。分離されていない場合は、n型基板を用い絶縁膜を介してp側電極のパッドを形成することになるので、MIS(Metal Insulator semiconductor)構造となり、パッド容量として素子容量に付加されることになり、そのパッド容量が受光素子全体として影響を及ぼす場合がある。これに対し、第6の実施形態に係る受光素子では、n側電極34が形成されたn型層(第1メサ29)

とは別のメサ（第2メサ30）上にパッド40を形成するので、パッド容量が素子容量に付加されないという独自の効果を有する。

【0098】なお、第6の実施形態に係る受光素子において、p側電極35をリング状ではなく円形として、光吸収層31上部からの入射光を遮光している。これは入射光44の散乱光が光吸収層31の上部から入射して感度比を劣化させるのを防ぐためである。しかし、検査工程で光吸収層31の上部から直接入射光を入射する場合には、p側電極35をリング状としてもよい。また、第6の実施形態に係る受光素子ではn側電極34はキャリア阻止層28上に形成されているが、これをフィルタ層27上に形成してもよい。フィルタ層27はキャリア阻止層28よりも禁制帯幅が小さく、この上にn側電極を形成した方がコンタクト抵抗を低減できる場合がある。また、パッド40はフィルタ層27のみからなる第2メサ30上に形成してもよく、半導体基板25上に形成してもよい。ただし、いずれの場合も絶縁膜39を介した方が望ましい。これは半絶縁性基板であっても多少の導電性があり、半導体層上に直接パッド40を形成すると

n側電極との間にリーク電流が発生するからである。

【0099】（第7の実施形態）第7の実施形態では、本発明の第1の実施形態に係る受光素子を光学部材と電気的あるいは光学的に実装した受光素子実装体について、図9を参照しながら説明する。尚、図9は、本発明の第7の実施形態に係る受光素子実装体の断面図である。

【0100】石英ガラスあるいはSi、GaAs等の半導体よりなる実装基板45にはガイド溝46が形成されており、ガイド溝46に光ファイバ47が載置されている。ガイド溝46は、樹脂（図示せず）によって埋め込まれる。

【0101】光ファイバ47を斜めに切断するように実装基板45にスリット48が形成され、このスリット48に反射板49が挿入されている。また、実装基板45の表面には、ガイド溝46を跨いで受光素子50がフリップチップボンディングされている。受光素子50は、受光素子50の光入射部51を実装基板45に向けてボンディングされている。

【0102】光ファイバ47を紙面右方向から伝搬してきた入射光52は、反射板49によって反射されて、受光素子50の光入射部51に入射する。受光素子50に入射した入射光52は、第1の実施形態で説明したように、半導体基板の第2主面で反射されて光吸収層に入射する。従って、入射光52は半導体基板に入射する前と光吸収層に入射する前の2回、フィルタ層を透過する。すなわち、入射光52が透過するフィルタ層の厚さを実質的に2倍の厚さとすることができる。

【0103】第7の実施形態に係る受光素子実装体では、受光素子50を実装基板45にフリップチップボン

ディングしているため、ワイヤボンディングした場合と比較してワイヤに伴う寄生容量が低減され、高速動作が可能になる。特に、実装基板をガラス等の誘電体あるいは半絶縁性の半導体基板とすると、寄生容量低減の効果が大きくなる。また、光入射部に斜め入射する受光素子を用いることにより、実装基板45側からの入射光52を直接受光素子50の光入射部51に入射して光学結合するので、受光素子50を実装基板45にボンディングした時点で光学結合も完了し、これにより、光学結合のための実装工程が不要になる。

【0104】さらに、図示していないが、光ファイバ47の射出側（図9における光ファイバ47の左端側）に半導体レーザを置き、反射板49をハーフミラーとすれば、容易に受光発光モジュールとすることができる。

【0105】なお、受光素子50は、第2～第6の実施形態に係る受光素子としてもよいが、図9に示すように光入射部51に斜め入射する場合は、第3、第5及び第6の実施形態に係る受光素子が好ましく、光入射部51に垂直に入射する場合、すなわち反射板49を入射光52の進行方向に対して45度の角度となるように設けた場合は、第2及び第4の実施形態に係る受光素子が好ましい。

#### 【0106】

【発明の効果】本発明の受光素子によれば、光入射部から入射した入射光が第1主面若しくは第2主面で反射されて光吸収層に入射するまでに、その入射光は半導体基板と光吸収層との間に形成されたフィルタ層を2回以上透過するので、入射光がフィルタ層を1回透過する構造の受光素子に対して、フィルタ層の厚さを実質的に2倍以上とすることができる。その結果、長波長（1.55  $\mu\text{m}$ ）側の信号光と短波長（1.3  $\mu\text{m}$ ）側の信号光の感度比として例えば20dB以上を得ることができる。

【0107】一方、本発明の受光素子実装体によれば、受光素子を実装基板に容易にフリップチップボンディングできるので、ワイヤボンディングした場合と比較して実装に伴う寄生容量が低減され、高速動作が可能になる上に、ボンディングした時点で光学結合も完了するので光学結合のための実装工程が不要になる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】（a）本発明の第1の実施形態に係る受光素子の平面図

（b）（a）におけるX-X線に沿う断面図

（c）（a）におけるY-Y線に沿う断面図

【図2】波長とInGaAsPの吸収との関係を示すグラフである。

【図3】各層のバンドギャップを示すグラフである。

【図4】（a）本発明の第2の実施形態に係る受光素子の平面図

（b）（a）におけるX-X線に沿う断面図

（c）（a）におけるY-Y線に沿う断面図

(d) 本実施形態の受光素子の裏面の一部を示す裏面図  
 【図5】 (a) 本発明の第3の実施形態に係る受光素子の平面図

(b) (a) におけるX-X線に沿う断面図

(c) (a) におけるY-Y線に沿う断面図

【図6】 (a) 本発明の第4の実施形態に係る受光素子の平面図

(b) (a) におけるX-X線に沿う断面図

(c) (a) におけるY-Y線に沿う断面図

【図7】 (a) 本発明の第5の実施形態に係る受光素子の平面図

(b) (a) におけるX-X線に沿う断面図

(c) (a) におけるY-Y線に沿う断面図

(d) 本実施形態の受光素子の裏面の一部を示す裏面図

【図8】 (a) 本発明の第6の実施形態に係る受光素子の平面図

(b) (a) におけるX-X線に沿う断面図

(c) (a) におけるY-Y線に沿う断面図

【図9】 本発明の第7の実施形態に係る受光素子実装体の断面図

【図10】 従来の長波長パルス特性のpinフォトダイオードの断面図

【符号の説明】

1、25 半導体基板

2、26 第1主面

\* 3、21、27 フィルタ層

4、28 キャリア阻止層（バッファ層）

5、31 光吸収層

6、32 ワイドバンドギャップ層（窓層）

7、33 拡散領域

8、34 n側電極

9、35 p側電極

10、23、36、51 光入射部

11、37 反射防止膜

12、38 スグライブレーン

13、39 絶縁膜

14、40 パッド（パッド電極）

15、41 配線

16、42 第2主面

17、20、24、43 反射膜

18、44、52 入射光

19、22 傾斜部

29 第1メサ

30 第2メサ

20 45 実装基板

46 ガイド溝

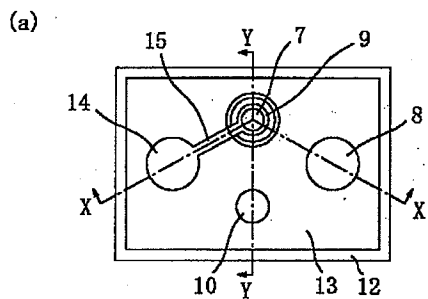
47 光ファイバ

48 スリット

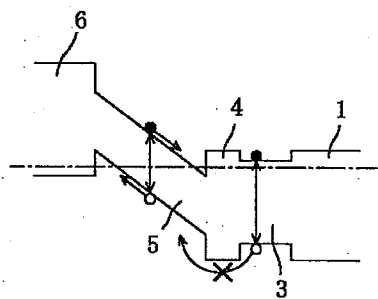
49 反射板

\* 50 受光素子

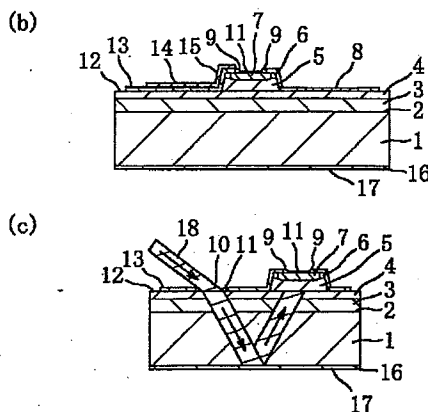
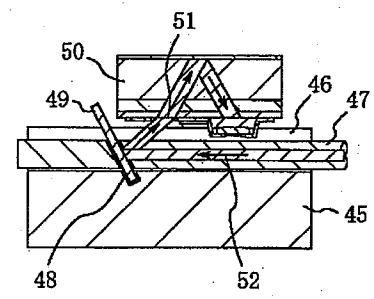
【図1】



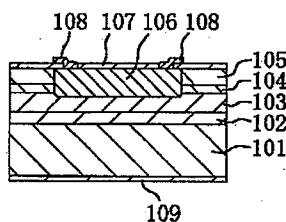
【図3】



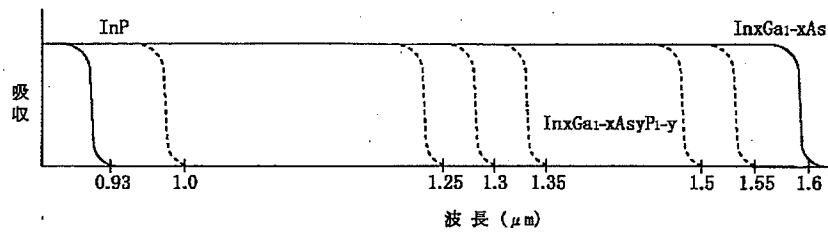
【図9】



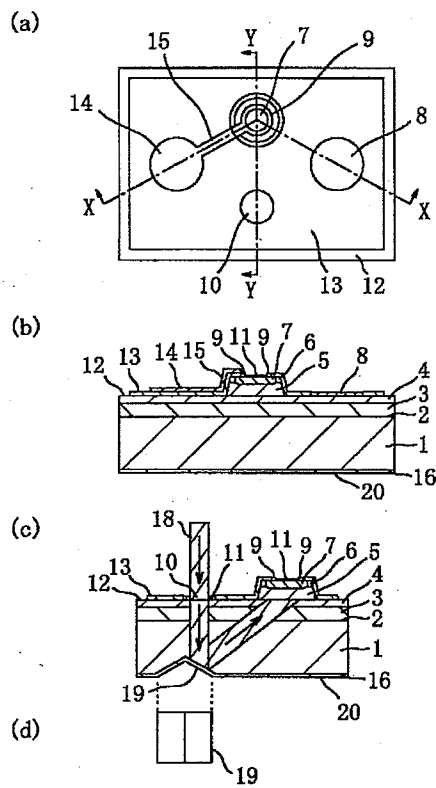
【図10】



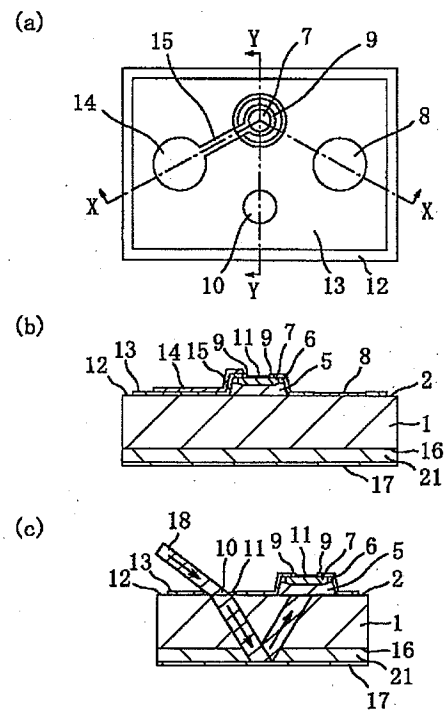
【図2】



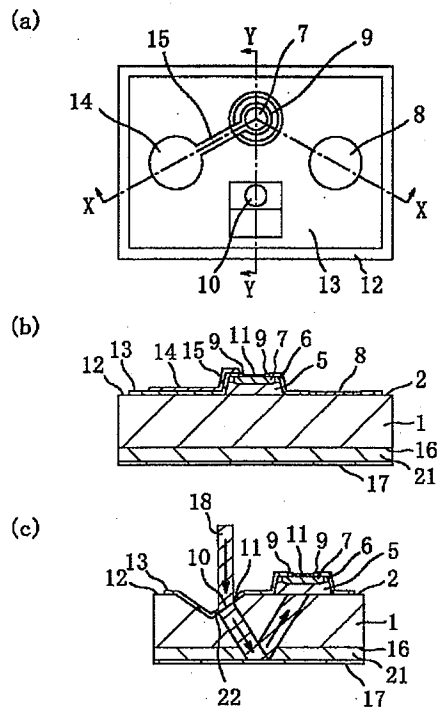
【図4】



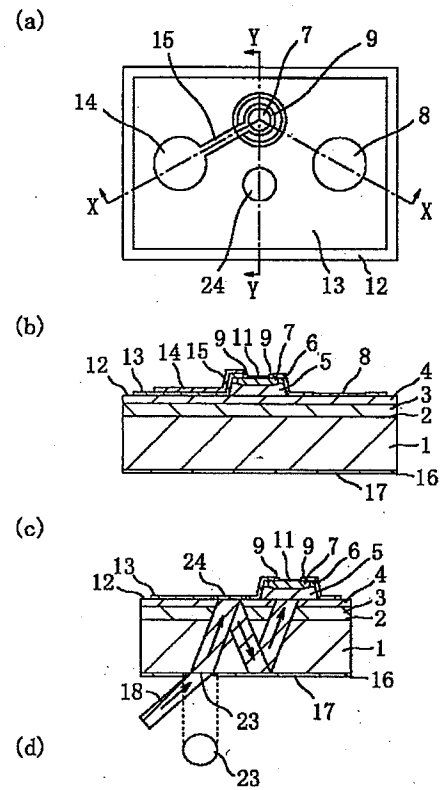
【図5】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

